2M

УДК 004.896

В.С. Майоров[1], С.В. Майоров[1], С.М. Комаров[2]
[1]Институт проблем лазерных и информационных технологий
Российской академии наук, г. Шатура, Россия
[2]Украинская академия печати, г. Львов, Украина
komarov@mail.lviv.ua, mvs-laser@list.ru

Программный комплекс для лазерной резки

В статье рассмотрены основные принципы проектирования интеллектуального программного комплекса для лазерной резки с целью существенного повышения производительности и расширения функциональных возможностей. Рассматриваемый программный комплекс состоит из двух основных модулей: геометрический процессор и конвертор (ГПК) и система поддержки принятия решений (СППР). В результате был создан новый комплекс компьютерных программ, который авторы в настоящее время успешно применяют.

Введение

Многие компании уже не представляют себе производство без технологических лазеров, используя их в таких процессах, как резание, сварка, закалка и т.д. Важным является универсальность лазерного оборудования. Экономическая эффективность и прибыльность требуют сокращать время обработки, в том числе время подготовительных операций. Первым этапом лазерной обработки является создание программы для ЧПУ. Традиционно для лазерной резки используют графические объекты, записанные в виде DXF-файла (наиболее часто создаваемого в AutoCAD). Технологические параметры для лазерного резания типовых материалов обычно получают из готовых баз данных [1].

Но геометрические формы для резания могут быть подготовлены дизайнерами в других форматах и в других графических приложениях, а материалы для резания – отсутствовать в стандартной базе данных. В статье описаны основные принципы построения программного комплекса для лазерного резания, основанного на некоторых новых идеях. Предлагаемый программный комплекс состоит из двух основных модулей: геометрический процессор и конвертор (ГПК) и система поддержки принятия решений (СППР). У каждого модуля своя структура (рис. 1).

Геометрический процессор и конвертор (ГПК)

Модуль ГПК импортирует векторные изображения в виде файлов типа .DXF, .AI или .EPS и конвертирует все контуры в непрерывные полилинии, состоящие из отрезков прямых и дуг. Пользователь может сохранить и вручную отредактировать конвертированное изображение, или сразу же сгенерировать программу ЧПУ для лазерной резки. Все технологические параметры для программы ЧПУ определяет модуль СППР. Модуль ГПК обладает следующими возможностями:

– интерпретация векторных изображений в файлах EPS, AI и DXF 2D;

– конвертация (аппроксимация) сплайнов (кривые Безье, NURBS) в полилинии, состоящие из отрезков прямых и дуг окружностей;

– выбор точности аппроксимации;

– частичная оптимизация геометрии;

– визуализация исходного и конвертированного изображений для сравнения;

– имитация резания;

– генерация программ ЧПУ для лазерного резания;

– настраиваемые параметры программы ЧПУ;

– настраиваемый графический интерфейс: предпросмотр, лупа, панорама, линейки и т.д.

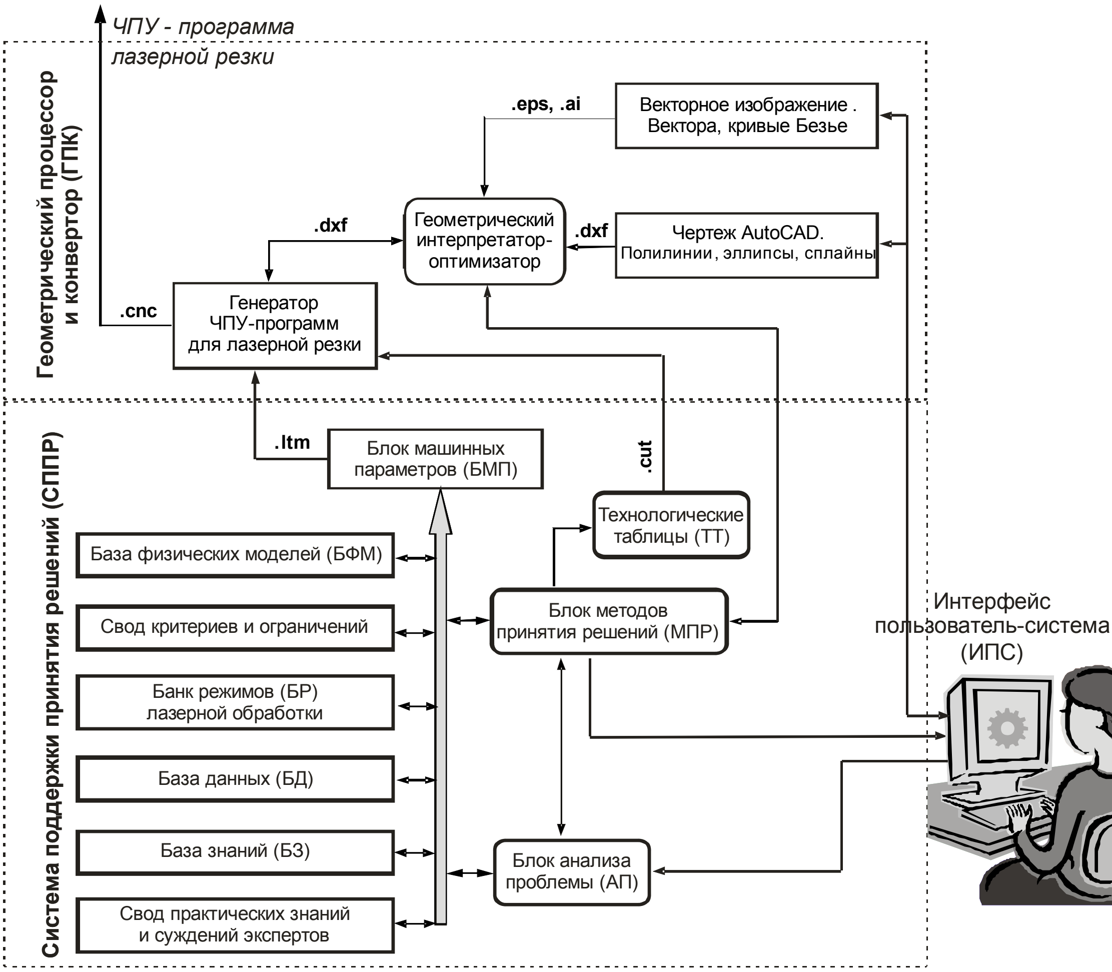


Рисунок 1 – Общая структура программного комплекса

Поддерживаемые форматы файлов

ГПК «понимает» векторные объекты в EPS- и AI-файлах. Конвертированное изображение можно записать в виде DXF-файла. Все сплайны из исходных файлов преобразуются в дуги и линии. Остальные объекты не изменяются. ГПК также интерпретирует DXF-файлы и конвертирует сплайны в полилинии. Выходной формат также DXF.

Конвертация

Основная задача модуля ГПК – конвертация. Модуль содержит ряд авторских алгоритмов конвертации различных видов сплайнов в дуги и отрезки прямых. Большинство систем ЧПУ работает только с линейными и дуговыми перемещениями. Стандартные DXF-фильтры (например, в Corel Draw) могут преобразовывать кривые Безье в полилинии. Однако эти полилинии состоят только из отрезков прямых. Недостаток очевиден: такие «кривые» в DXF не гладкие, а программа ЧПУ будет состоять из сотен кадров, например 32...64 команды вместо одной дуги. Количество дуг после конверта-

ции зависит от допуска (Epsilon). Чем меньше Epsilon, тем больше дуг требуется для аппроксимации сплайна. Пользователь может выбирать разные значения допуска и сравнивать результаты. Основной алгоритм отвечает за конвертацию выпуклой кривой Безье с четырьмя управляющими точками [2]. NURBS – более сложный вид сплайна. Конвертация NURBS состоит из двух этапов. На первом этапе NURBS заменяется несколькими кривыми Безье. Если весовые коэффициенты всех управляющих точек равны единице, получаем полином Бернштейна, который можно точно заменить последовательностью кривых Безье. Если весовой коэффициент хотя бы одной управляющей точки не равен единице, NURBS приближенно аппроксимируется кривыми Безье с заданным допуском.

Визуализация

Модуль ГПК разработан под современный графический интерфейс, который имеет предпросмотр при открытии файла, линейки, линзу, панораму, настраиваемый вид рабочего поля. Пользователь может задать разные цвета для отображения объектов разных типов (дуг, линий, сплайнов, узловых и управляющих точек), что удобно для сравнения результатов конвертации при различных допусках.

Имитация резания

Модуль ГПК обеспечивает анимированную имитацию лазерного резания загруженного изображения с регулируемой скоростью. Очень важно проверить последовательность резки перед генерацией ЧПУ-программы и ее отправкой в лазерный стол. В конце имитации программа сообщает общую длину реза и холостых ходов. Данная информация полезна при оптимизации последовательности резки и расчета времени обработки.

Генерация программ ЧПУ

Модуль ГПК способен генерировать из DXF-файлов готовые программы для ЧПУ в стандартных G-кодах. Если DXF-файл не содержит NURBS, программу ЧПУ можно сгенерировать сразу. Если же сплайны имеются, программа сначала конвертирует их в полилинии. EPS- или AI-файл необходимо сначала конвертировать в DXF. Модуль ГПК получает оптимальные параметры технологического режима для лазерного резания конкретного материала (например, мощность лазера, скорость резания, паузу для прожигания и т.д.) от модуля СППР.

Основные принципы построения и функционирования Системы поддержки принятия решений (СППР)

Системы поддержки принятия решений – СППР (или DSS – Decision Support Systems) являются дальнейшим развитием идеологии экспертных систем и представляют собой новый класс человеко-машинных систем, в котором формирование, анализ и принятие решений производится человеком во взаимодействии с вычислительной системой, осуществляющей обработку значительных объёмов объективной и субъективной информации. СППР помогает пользователю быстро обработать и всесторонне проанализировать большие объёмы разноплановой информации, использовать её в привычной для себя манере. Наибольший эффект СППР могут дать при решении проблем, обладающих структурой, достаточной для использования объективных моделей и применения вычислений, но где в то же время существенными являются суждения и предпочтения человека. К подобным проблемам можно отнести и лазерные процессы обработки материалов, которые наряду с другими современными технологиями

базируются как на разнообразных теоретических моделях, так и на многочисленных экспериментальных данных и практическом опыте работы квалифицированных специалистов-технологов [3]. Так, например, в работе [4] описана СППР для лазерной закалки и показана её эффективность.

Все предлагаемые на рынке установки для лазерной резки в своей системе компьютерной подготовки управляющих программ имеют технологический блок, представляющий из себя фактически базу данных с технологическими таблицами по отработанным режимам лазерной резки ряда материалов. Этот перечень материалов всегда ограничен и конечен, поэтому пользователь регулярно и часто сталкивается с необходимостью самостоятельно находить оптимальные режимы лазерной резки новых марок и видов материалов. Такая работа требует большого количества экспериментов, трудоёмка и сопряжена с большими потерями рабочего времени.

Описываемая СППР показывает её возможности и преимущества по сравнению с традиционными для лазерных технологов экспериментальными технологическими таблицами и базами данных.

Структура СППР по лазерной резке

СППР включает и интегрирует в себе ряд важных компонентов и блоков: банк режимов (БР) лазерной обработки, базу данных (БД), базу физических моделей (БФМ), базу знаний (БЗ), своды систематизированных практических знаний и суждений экспертов и объективных критериев и ограничений, а также блок анализа проблемы (АП) и блок методов принятия решений (МПР).

Система вначале получает от пользователя исходную информацию о материале, геометрических характеристиках изготавливаемых деталей, требованиях к качеству обработки и т.д. (входные параметры), и затем предоставляет рекомендации о выборе наиболее важных параметров технологического процесса, например, скорости резки, режима генерации лазера, вида газа, фокусного расстояния и др. (выходные параметры). Взаимодействие пользователя и СППР происходит через блок *интерфейса пользователь-система (ИПС).* Интерфейс обеспечивает эффективное взаимодействие СППР и пользователя на привычном ему языке в форме диалога.

Блок анализа проблем (АП). Блок анализа проблем предназначен для первичной структуризации проблемы и нахождения соответствия между проблемой и методом принятия решений.

Блок методов принятия решений (МПР). В этом блоке могут содержаться методы, принадлежащие к двум основным классам: с объективными и субъективными моделями.

База данных (БД). База данных содержит необходимый для работы СППР объективный фактический материал (например, теплофизические постоянные материалов и т.п.), структурированный необходимым образом.

База физических моделей (БФМ). База объединяет в себе выраженные в математическом виде физические модели лазерной резки, главные закономерности, зависимости, критерии.

База знаний (БЗ). База знаний в СППР включает в себя систематизированные литературные данные об экспериментально полученных зависимостях и режимах лазерной резки.

Свод практических знаний и суждений экспертов основан на знаниях опытных технологов-практиков и составлен в виде как бы их консультаций по влиянию режимов лазерного технологического процесса на параметры качества лазерной резки.

Свод критериев и ограничений во многом определяется паспортными данными конкретной лазерной технологической установки, часть из которых служит для настройки системы под конкретное оборудование через *блок машинных параметров (БМП).*

Основная информационная часть системы создана на основе знаний экспертов-технологов и информации из банка данных технологических процессов. Имеющаяся информация представлена в виде прецедентов. В процессе работы используют алгоритмы, имеющие различное назначение: поиск ближайших прецедентов, оценка схожести задач между собой и др. В начале была проведена структуризация рассматриваемой предметной области и выработаны основные качественные и количественные критерии, описывающие входные и выходные параметры процесса лазерной резки.

Диаграмма влияния

Наблюдения за процессом выработки рекомендаций экспертом-технологом показали, что принятие решений по каждому из перечисленных параметров проходит последовательно с учетом зависимости параметров. Был построен ациклический граф (диаграмма влияния), отражающий зависимость между основными параметрами рассматриваемого технологического процесса.

Последовательная схема принятия решений

Пусть X_1 – множество входных параметров, X_2 – множество выходных параметров и $X = X_1 U X_2$ – множество всех параметров. Тогда на основе построенной диаграммы влияния можно сформулировать последовательную схему принятия решений по каждому из выходных параметров, каждый i-й шаг которой можно записать следующим образом: S_i: $\{x_k, x_l, ..., x_m\} \rightarrow x_n$, где $x_k, x_l, ..., x_m$ принадлежат X_1, x_n принадлежит X_2. Например:

1) {тип ЛТК, материал, толщина материала} → фокусное расстояние;

2) {тип ЛТК, материал, толщина материала, острые углы, малые отверстия, грат} → режим резки;

3) {тип ЛТК, материал, толщина материала, острые углы, малые отверстия, грат, шероховатость} → вид газа;

4) {тип ЛТК, материал, толщина материала, режим резки} → средняя мощность;

5) ...и т.д.

Как отмечают многие исследователи в области искусственного интеллекта, построение базы знаний, отражающей процедуральные знания эксперта, является важным этапом разработки экспертных систем. В условиях данной задачи база данных по технологическому процессу лазерной резки строилась на основе опроса опытного технолога. В качестве основного метода построения системы логического вывода был выбран подход суждения по прецедентам – Case-Based Reasoning (CBR). Такой выбор не является случайным, поскольку от проектируемой программной системы наравне с рекомендацией по технологическому процессу требуется также адаптация к конкретному ЛТК.

CBR технологии

CBR – это технология решения проблем путем анализа прецедентов (задач ранее встречавшихся и успешно решенных). CBR система может выполнять различные функции: адаптировать и использовать существующие решения для новых задач, давать объяснения, основываясь на существующих описаниях подобных ситуаций, критиковать новые решения, полученные из анализа предыдущих задач, классифицировать новую ситуацию по имеющимся прецедентам. По сути – это в определённом смысле аппроксимация. Цикл работы CBR в самом общем виде может быть описан следую-

щими шагами:

1. Нахождение наиболее близкого по отношению к новой задаче прецедента или прецедентов.

2. Адаптация найденного ранее решения для близкого прецедента по отношению к новой задаче.

3. Проверка на практике и сохранение полученного опыта для работы с новыми задачами.

Для того чтобы CBR система смогла осуществить эти три шага, необходимо представлять имеющуюся информацию в виде прецедентов, определять меру их схожести между собой и при необходимости «забывать». В соответствии с приведенным выше описанием предметной области для поставленной задачи в качестве прецедентов можно использовать записи базы данных по технологическому процессу лазерной резки.

В процессе работы CBR технологии используют алгоритмы, имеющие различное назначение: поиск ближайших прецедентов, оценка схожести задач между собой и др. Например, CBR система *KATE* использует индуктивный алгоритм *ID3* для просмотра прецедентов, система *ReMind* использует для тех же целей индуктивный алгоритм *Cart*. Одним из простых, эффективных и хорошо зарекомендовавших себя алгоритмов является алгоритм принятия решений по прецедентам – метод k ближайших соседей *(k – NN)*. Именно этот алгоритм лежит в основе разработанной программной системы.

Метод *k* ближайших соседей

На каждом шаге в соответствии с последовательной схемой принятия решений по каждому выходному параметру осуществляется поиск близких по отношению к новой задаче прецедентов. В процессе поиска определяется функция полной схожести $SIM(A, B)$ двух прецедентов A и B, описанных p параметрами, так что её значение принадлежит отрезку [0,1]:

$$SIM(A,B) = \frac{\sum_i sim_i(a_i, b_i)}{p},$$

где $sim_i\,(a_i,b_i)$ – локальные функции схожести по отдельным параметрам, a_i,b_i – множество возможных значений параметра i прецедентов A и B соответственно. В некоторых простых случаях вместо метода k ближайших соседей можно использовать заранее проработанное с экспертом дерево решений. Такие деревья могут строиться из данных с помощью алгоритма *C4.5*. Этот алгоритм построения деревьев решений реализован во многих коммерческих системах, например, в системе *KATE.* Однако автоматически построенные деревья решений должны тщательно прорабатываться с экспертом.

Таким образом СППР помогает технологам в быстром выборе технологии лазерной резки. Но экспериментальный пробный рез для проверки всё-таки стоит сделать.

Выводы

1. Сочетание геометрического (ГПК) и интеллектуального технологического (СППР) модулей позволило создать новый мощный инструмент – программный комплекс для лазерной резки.

2. Этот программный комплекс позволяет существенно быстрее генерировать программы ЧПУ для лазерной резки из разнообразных графических форматов.

3. Этот программный комплекс увеличивает производительность лазерной резки за счет автоматизированного выбора оптимальных технологических параметров.

4. Описываемая система была испытана авторами и доказала свою технологическую и экономическую эффективность.

Литература

1. Ильичёва С.И. База знаний в лазерных технологиях / С.И. Ильичёва, В.С. Майоров, Н.М. Семёшин // Автоматизация проектирования. – 1998. – № 2. – С. 16-20.
2. Комаров С.М. Аппроксимация кривых Безье сопряженными дугами и ее практическое применение / С.М. Комаров, Н.Г. Соловьев // Применение лазеров в науке и технике. – Изд. Иркутского филиала Института Лазерной Физики СО РАН, 1996. – Вып. 8. – С. 131-134.
3. Майоров В.С. Компьютерные системы поддержки принятия решений для лазерных технологических процессов обработки материалов / В.С. Майоров, С.В. Майоров, М.Ю. Стернин // Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / под ред. В.Я. Панченко. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – С. 494-506.
4. Mayorov V.S. Decision Support Systems for Optimization of Laser Materials Processing / V.S. Mayorov, S.V. Mayorov // Proceedings of the Third International Conference on Laser Technologies in Welding and Materials Processing. – 29 May – 1 June 2007, Ukraine, (Crimea), vil. Katsiveli. – P. 110-111.

В.С. Майоров, С.В. Майоров, С.М. Комаров

Програмний комплекс для лазерного різання

У статті розглянуто основні принципи проектування інтелектуального програмного комплексу для лазерного різання з метою суттєвого підвищення продуктивності і розширення функціональних можливостей. Розглянутий програмний комплекс складається з двох основних модулів: геометричний процесор і конвертор (ГПК) та система підтримки прийняття рішень (СППР). В результаті було створено новий комплекс комп'ютерних програм, який автори на даний час успішно використовують.

V.S. Mayorov, S.V. Mayorov, S.M. Komarov

The Program Complex for Lazer Cutting

The main principles of creation of an intelligent program complex for laser cutting are discussed in this article. The goal is significant increasing of the productivity and expanding of the functional capabilities. The discussed program system consists of the two main modules: Geometry Processor and Converter (GPC) and Decision Support System (DSS). As the result the new program system was created. The authors successively use the system now.

Статья поступила в редакцию 22.03.2010.